

국외 출장 결과보고서

결	담당자	실장	사업단장
	6월 23일	6월 23일	6월 23일
재	구명서	(대결) 남현	이우진

1. 출장개요

출장목적	The First Annual UFS Physics Workshop 참석 및 발표		
	The First Noah-MP Annual Users' Workshop and Tutorial 참석 및 발표		
	NOAA/NCAR 물리과정 및 지면모델 개발 전문가 회의		
출장일정	2023. 5. 15.~2023. 5. 26. (10박 12일)		
성명		소속	직급(직위)
구명서		결합모델팀	책임급연구원(팀장)
방문기관 (또는 회의장소)	미국, 볼더, NCAR		
출발지	서울, 인천	도착지	미국, 볼더

2. 업무수행내용

가. 출장 배경 및 목적

- o 2023년 5월 16-18일(3일간) 미국 볼더 National Center for Atmospheric Research (NCAR)에서 개최된 Annual UFS Physics Workshop은 금년에 최초 시작하여 매년 개최될 예정으로 미국 현업모델(UFS) 물리과정에 대한 객관적 진단과 과학적 개선을 바탕으로 효율적 현업화를 목표로 한다. 금년 워크숍은 구름과 강수과정 개선에 초점을 두고 UFS를 사용하는 주요 현업 및 연구기관 전문가들이 한자리에 모여 최신 개발 현황과 향후 계획에 대해 논의하는 것이 주요 쟁점이다. 워크숍 참석을 통해 UFS 물리과정에 대한 최신 연구 동향을 파악하고 사업단에서 개발한 KIM-해양/해빙/지면/하천/파랑 결합모델 연구 성과를 공유함으로써 구름과 관련된 대기 물리과정과의 상호작용 및 개선안에 대한 정보를 수집하여 향후 결합모델 개선에 적극 활용하고자 한다.
- o 2023년 5월 23-25일(3일간) 미국 볼더 NCAR에서 개최된 Noah-MP Users' Workshop and Tutorial은 약 10년전 개발되었으나 최근 활발히 사용 및 개선되고 있는 Noah-MP 지면모델에 대한 최초 사용자 워크숍 및 튜토리얼이다. 따라서 Noah-MP 지면모델을 사용하는 연구자와 개발자들이 대다수 참석하여 최신 개발 현황을 공유하고 향후 커뮤니티 모델로써 나아가야 될 방향성을 논의하는 자리가 되며 특히, 연구 목적 뿐만 아니라 현업화를 위한 노력들이 많이 소개된다. 초청연사로서 사업단 결합모델에 장착된 NoahMP 결합 과정과 결과 등의 연구 성과를 발표하여 결합 적절성을 확인하고 핵심 개발자 및 현업화 담당자와 함께 논의를 통해 결합모델 개발 방향성을 수립하고자 한다.

나. 주요 업무 수행 사항

o Annual UFS Physics Workshop

(발표자료 정리: <http://172.128.66.133/trac/ideafactory/wiki/2023UFSworkshop>)

Research and Development

- 구름 미세물리과정에 대한 역사와 과학적 배경이 강연되었고 향후 에어러솔과의 상호작용이 중요함을 시사. 향후 고해상도 모의와 함께 보다 고차원(예를 들어, 2/3중 모먼트) 물리과정이 필수적임
- UFS 미세물리과정은 Thompson 방안으로 대체될 예정이나 WDM6 기반으로 개선된 새로운 미세물리과정 방안이 도입되어 검증 진행중이며 계산비용 절감 효과가 있음
- 사업단에서도 결합중인 통합형 습윤 물리과정(UNICON)이 소개되었으며 서울대 자체 개발모델인 IMPrES에서 단/중/장기 검증 결과 모의성능이 기존 모델(SAM0-UNICON) 대비 개선됨
- Neural Network를 통한 미세물리과정 에뮬레이팅 연구가 수행중이나 개선이 필요함
- 미세물리과정 내 불확실성이 큰 요소에 대한 민감도 검증이 수행되었고 모수화 방안별 차이점 분석을 통해 향후 개선 방향성 제시

Operational Needs and Ongoing UFS-R2O Development

- UFS 현업모형에 적용된 Thompson 미세물리과정에 대한 전반적 진단과 최신 개발내용이 소개. 준라그랑지안 방안 도입으로 정확도 및 계산효율성이 개선되었고 기존 GFDL 미세물리방안 대비 유사하거나 약한 성능 개선이 있음
- 미공군 현업모형의 물리패키지 업데이트를 소개하면서 구름과 강수 모의성능이 미세물리과정 변화에 따라 크게 달라짐을 확인.
- 연직해상도 증가와 경계층 방안 개선이 얇은 구름 모의성능 개선에 도움이 됨을 시사
- 구름양 계산을 위해서 기존에는 상대습도 기반 진단방안을 사용했으나 KIM과 유사하게 Tiedke 기반 예단방안 개발 진행중이며 기존과 유사한 모의성능으로 진단. 향후 대류과정과 연결을 고려하고 있으며 Thompson 방안과 일관성 확보하는 작업이 진행중
- 기후값 처방을 대신하여 새로운 에어러솔 진단 혹은 예단 방안을 고려중이며 이중 모먼트를 사용하는 미세물리과정과 연결되었을 때 강수 모의 성능이 적절히 개선됨
- 태풍 예측에서 기존(GFDL)과 개선(Thompson) 미세물리과정에 대한 민감도 실험 결과 대체로 큰 차이가 없으나 수상량에서만 미세하게 차이가 있음을 확인

Community Development

- SHIELD (System for High-resolution prediction on Earth-to-Local Domains)는 GFDL에서 개발된 Seamless 모델링 프레임워크로 X-SHIELD (Global 3 km), S-SHIELD (Global 25 km),

Tele-SHiELD (Urban scale 1.4 km), T-SHiELD (Tropics 3 km), C-SHiELD (CONUS 3 km) 등으로 구성되며 FV3 기반 대기-MOM6 해양-Noah 지면 결합모델로 운영됨

- 미세물리과정이 Thompson 방안으로 대체되지만 기존 GFDL 방안도 SHiELD 시스템 내에서 여전히 개선이 이루어지고 있음
- 물리-역학 결합방안에 대한 재검토가 진행중이며 UFS에서는 연직 리맵에 따라 불안정성이 발생함을 확인하여 SHiELD와 비교 검토 후 개선 예정
- 여러 기관에서 효율적으로 물리과정 개선을 수행하기 위해 CCpp (Common Community Physics Package) 개발 프로젝트가 진행중이며 이에 대한 전반적 구조와 가용 모델이 소개됨
- MJO와 같은 연장중기 예측도 평가지표에서 미세물리과정의 역할이 중요하며 역학과정과 연결하여 연직수송에 대한 이해도가 필요함을 언급함

o Noah-MP Annual Users' Workshop and Tutorial

(발표자료 정리:<http://172.128.66.133/trac/ideafactory/wiki/2023NoahMPworkshop>)

Noah-MP model development overview

- Noah와 Noah-MP 모델 개발 과정에 대한 전반적 강의가 이루어졌고 현재 Noah-MP를 사용하는 연구자, 기관의 수가 점점 증가하고 영역이 확대되고 있음
- 최신 업데이트 버전(V5.0)은 기존 대비 물리과정에 대한 수정이 크지 않으나 코드 최신화 및 모듈화를 통해 범용성을 크게 확보함. V5.0은 현재 HRLDAS에만 결합되었으나 NASA/LIS, NOAA/UFS, NWM/WRF-Hydro, WRF, MPAS 등에도 결합이 진행중
- UFS-NoahMP 결합모델이 소개되었고 계통오차 특성이 KIM-NoahMP와 유사하게 나타남을 확인. 증발산이 약하다는 진단과 토양색깔 도입 등 현재까지 연구 진행상황이 사업단과 상당히 유사하고 향후 개발 방향성(지표층 모수화 개선 등)도 공통점이 있음
- 오스틴의 텍사스 대학교, 아리조나 대학교 등에서는 Noah-MP를 이용하여 보다 진일보한 지면 물리과정에 대한 연구가 이루어지고 있음. 예를 들어, Plant Hydraulics, Carbon/Nitrogen Dynamics, Vegetation Assimilation, Canopy Heat Storage, Dynamic Root Model 등에 대한 연구가 소개되었으나 대부분 미국지역을 중심으로 검증됨
- 중국의 전구 차세대모델(GRIST; Global-to-Regional Integrated forecast SysTem)에서도 Noah-MP 결합이 진행중이나 결합 초기단계 수준으로 판단됨
- NCAR에서는 Noah/Noah-MP와 WRF-Hydro 수문모델을 결합하여 현업 수문예측에 활용하고 있음
- NASA/LIS의 경우 Noah-MP를 이용한 자료동화시스템을 활발히 개발중이고 4.0.01 버전을 최

신버전(5.0)으로 변경하는 작업이 진행중. 추가로 LIS 기반 전구 수문자료 생산을 시도중

Hydrology

- Noah-MP가 이탈리아 지역 가뭄을 잘 모의하지만 식생 모의 성능은 개선이 필요함
- 현재 Noah-MP 적설 물리과정은 계통적 오차가 있음을 확인하였고 적설 비율 및 캐노피 적설에 대한 물리과정 개선과 자료동화 연구가 진행중
- WRF-hydro와 함께 육빙 모델에 대한 결합 연구가 진행중
- 중국에서는 Noah-MP를 이용하여 관개(Irrigation) 효과를 분석중이며 지하수 모델과 연결하여 통합적 지면모델링 시스템 구축을 시도중

Biogeochemistry and agriculture

- WRF/Noah-MP 모델에서 Nitrogen Dynamics를 추가하여 지면 부근 예측성능 개선이 나타나며 Crop, Chemistry 모델과도 결합을 시도하여 장기적 효과를 살펴보고 있음
- 농수 관리에서도 Noah-MP 모델을 활용하고 있는데 미국 National Water Model (NWM)내에서 cropland, irrigation, tile-drainage 등에 대한 진보된 기술이 개발중

Urban and data assimilation

- 도시(Urban)모델과 결합하여 도시효과를 분석하고 있으며 태풍 사례에서 지면효과 분석
- 기존 자료동화시스템과 머신러닝 기법을 조합하여 Noah-MP 성능 개선을 시도
- Noah-MP와 함께 토양수분, 적설 자료동화를 수행하였을 때 성능개선을 확인. 향후 물수지 균형 개선과 관개 효과 등을 도입할 계획임
- Famine Early Warning Systems Network (FEWS NET) 지면자료동화 시스템은 LIS를 활용함에 따라 Noah-MP 사용을 계획중이며 Noah와 비교연구를 진행중

Soil moisture and weather/climate forecast

- Dynamic Root에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 기존 Static Root 방안 대비 지면 난류속 모의가 상당히 개선됨. 지역적 연구에서 전구 영역으로 확장을 시도하고 있으며 보다 깊은 토양으로도 Root 존을 확장할 계획
- 적설 불확실성을 개선하기 위해 다양한 지면모델(JULES, Noah, Noah-MP)과 앙상블을 활용한 비교 연구 프로젝트(Snow Ensemble Uncertainty Project; SEUP)가 수행되었고 Noah-MP는 추운 계절에 상당히 큰 계통오차가 있음을 확인
- UFS 모델의 지면부근 오차는 상당부분 지면모델에서 기인하고 있으나 복사, CAPE 등 대기 물리과정과 연계해서 살펴볼 필요가 있음
- WRF-NoahMP를 단일기동모델 내에서 토양유형 의존 모수(BEXP, DKSAT, DWSAT, SMCMA, SMCREF, SMCWLT)에 대한 최적화를 시도하였는데, 지면 속과 온도 등에 개선효과가 있음을 확인

3. 출장성과·시사점 및 향후 업무 활용 계획

- 사업단에서 개발 중인 대기-해양/해빙/지면/하천/파랑 결합모델의 개발 현황과 향후 계획을 소개함으로써 사업단을 홍보하고 1단계(2020~2022) 기간 동안 개발된 KIM 결합모델 진단과 개선을 위해 관련 전문가의 자문을 받을 수 있었다. 향후 연장중기 시간규모에서 예측도 향상을 위한 결합모델 개발 방향과 검증방안을 구체적으로 수립하고자 미국 현업 전구모델과 현업/연구용 지면 모델 개발 내용을 면밀히 살펴볼 수 있었고 선진 개발그룹 전문가와의 의견 교류를 통해 협업 가능성을 타진하였다. 구름 및 강수와 관련된 대기-지면 상호작용, 그리고 지면 모델 내 다양한 응용모듈(관개 모수화, 적설 개선, 호수 모델, 도시 모델, 육빙 모수화, 캐노피 모델 등) 개발 현황 등의 연구 주제는 향후 사업단 모델 개발에 적극 활용될 수 있을 것으로 기대한다.
- 사업단 결합모델의 다음 목표는 경계모델 고도화 뿐만 아니라 대기모델에서 사용하는 물리과정과 일관된 모수화 방안을 확보하고 결합 자료동화를 완성하는 것이다. Noah-MP 워크숍에서는 지면 모델 개발과 함께 지면 자료동화 관련 연구 내용들도 함께 소개되어 해당 연구내용들은 모두 시공간 통합형 수치예보모델의 개발 과정에 상호 비교/검증 자료로 활용할 계획이다. 최근 미국의 기상청 및 관련 연구기관들은 사업단과 같이 통합형 물리과정 개발을 목표로 하고 있으므로 미국 현업모델의 물리과정을 이용한 선진 연구 기술과 자문 내용은 사업단 개발모델의 계통오차 진단 및 문제점 해결을 위한 효율적 참고자료가 된다. 한편, 워크숍 전후로 진행한 전문가 회의를 통해 인적 네트워크를 구축하였고 선진 연구기관과의 적극적 협력 방안을 모색할 수 있는 기회를 가졌다. 방안을 모색할 계획이다.